AECL
EACL

REVUE SCIENTIFIQUE NUCLEAIRE D'EACL

VOLUME 1, NUMÉRO 1
JUIN 2012

LA REVUE CANADIENNE EN MATIÈRE DE SCIENCE ET DE TECHNOLOGIE NUCLÉAIRES

WWW.AECL.CA

REVUE SCIENTIFIQUE NUCLEARE D'EACL

La Revue scientifique nucléaire d'EACL présente d'importantes innovations en matière de science et de technologie nucléaires qui cadrent avec les programmes de base d'EACL. La revue publie des articles novateurs et originaux ainsi que des notes techniques sur divers sujets : industrie nucléaire (technologie CANDU), sécurité et garanties nucléaires, énergie propre et sûre (incluant les réacteurs de quatrième génération), technologie de l'hydrogène, petits réacteurs, fusion, énergie durable et matériaux de pointe, santé, isotopes et rayonnement, sciences environnementales. Les articles examinés par des pairs et acceptés devraient couvrir différentes disciplines telles que l'ingénierie, la chimie, la physique et la biologie.

La Revue scientifique nucléaire d'EACL invite les scientifiques et les chercheurs universitaires de différentes disciplines du Canada et du reste du monde à lire sa nouvelle publication, qui est le reflet de la collaboration entre les chercheurs scientifiques et les travailleurs de l'industrie.

À PROPOS DE NOUS

Énergie atomique du Canada limitée (EACL) est le laboratoire national du Canada pour les sciences et la technologie nucléaires. Depuis plus de 50 ans, EACL est un chef de file mondial dans le développement d'applications pacifiques et novatrices de la technologie nucléaire, grâce à son expertise en physique, en métallurgie, en chimie, en biologie et en ingénierie.

Aujourd'hui, EACL maintient son engagement envers les Canadiens et le monde entier afin qu'ils bénéficient des retombées des sciences et de la technologie nucléaires sur le plan de l'énergie, de la santé, de l'environnement et de l'économie, tout en sachant que la sécurité et la sûreté nucléaires sont assurées.

RÉDACTEUR INTÉRIMAIRE

G.L. Strati, directrice, mise au point de l'équipement mécanique, EACL

CORÉDACTEUR

F. M. Courtel, chimie, EACL
A. Khalifa, ingénieur mécanique, EACL

COMITÉ DE RÉDACTION

C. Butler, directrice, opérations de R&D, EACL
R. Didsbury, directeur général, EACL
G.L. Strati, directrice, mise au point de l'équipement mécanique, EACL
B. Sur, directeur, sciences nucléaires, EACL

Copyright © 2012 Énergie atomique du Canada limitée.
Tous droits réservés.

REVUE SCIENTIFIQUE
NUCLEAIRE
D'EACL

VOLUME 1, NUMÉRO 1
Juin 2012

ARTICLES SUR INVITATION

Évaluation des performances à long terme des matériaux hors cœur des réacteurs CANDU®
R.L. Tapping, Y. Lu, D. Mancey, Z. Walker
- 1 -

ARTICLE INTÉGRAL

Corrosion localisée de l'alliage 800 de qualité nucléaire dans des conditions de fermeture temporaire, de démarrageet de fonctionnement des générateurs de vapeur
Y. Lu
- 2 -

Données nucléaires et effet du gadolinium dans le modérateur
J.C. Chow, F.P. Adams, D. Roubstov, R.D. Singh, M.B. Zeller
- 3 -

Mesures du profil de rayonnement gamma à haut débit de dose dans un réacteur CANDU®
C. Jewett, J. Chow, D. Comeau, G. Jonkmans, B. Smith, B. Sur, D. Taylor, S. Yue
- 4 -

Optimisation de la maille spatiale de la solution numérique de l'équation de transport des neutrons dans une cellule de réseau à barreaux groupés
R.S. Davis
- 5 -

Résonance acoustique auto-induite de cylindres isolés exposé à un écoulement transversal
A. Mohany
- 6 -

NOTES TECHNIQUES

Nouveau scintillateur liquide sécuritaire chargé en bore pour la détection de neutrons
G. Bentoumi, X. Dai, E. Pruszkowski, L. Li, B. Sur
- 7 -

Système de détecteur d'imagerie à rayonnement basé sur un collimateur inverse
A. Das, B. Sur, S. Yue, G. Jonkmans
- 8 -

Radionucléides anthropogéniques dans des sédiments de la rivière des Outaouais, près des Laboratoires de Chalk River
D.J. Rowan
- 9 -

ÉVALUATION DES PERFORMANCES À LONG TERME DES MATÉRIAUX HORS CŒUR DES RÉACTEURS CANDU®

R.L. Tapping[A*], Y.C. Lu[A], D.S. Mancey[A] and Z.H. Walker[B]

[A] EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0
[B] Candu Energy Inc., 2280 Speakman Drive, Mississauga, Ontario, Canada, L5K 1B1

Information sur l'article
Mots clés: corrosion des générateurs de vapeur, corrosion par débit accéléré, corrosion de l'acier ordinaireau carbone, matériaux des CANDU
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 43219, tappingr@aecl.ca

Les réacteurs dits de secondes générations s'approchent de la fin de la durée de vie utile pour laquelle ils ont été conçus. Des évaluations sont actuellement en cours pour déterminer la faisabilité de prolongation de leur durée de vie, tant aux niveaux matériel qu'économique. Les composants qui sont le plus exposés aux radiations des neutrons et des rayons gamma due au vieillissement en service sont souvent le focus des évaluations de la durée de vie. Le vieillissement des composants hors cœur peut aussi limiter la possibilité de prolonger la durée de vie initiale des réacteurs. La décision de prolonger la durée de vie des réacteurs CANDU se prend lorsque les tubes de force de Zr-2.5Nb atteignent leur fin de vie, généralement après 25 ans de fonctionnement pour les premiers réacteurs CANDU-6. Au moment de remplacer des tubes de force, pouvoir prédire la durée de vie restante des autres composants ou systèmes majeurs fournit l'information nécessaire pour déterminer la faisabilité de prolonger la durée de vie du réacteur. Plusieurs réacteurs CANDU sont actuellement en cours de remise en état ou programmés pour une remise en état. Jusqu'à ce jour, l'expérience à montré que les générateurs de vapeur, les conduites des circuits caloporteurs et divers systèmes de conduits de la partie non-nucléaire de la centrale doivent être évalués pour assurer une remise en état réussie du réacteur. Dans cet article, nous présentons les activités de recherche et développement à l'EACL visant à fournir les connaissances reliées la chimie et les matériaux nécessaires pour évaluer l'état actuel des réacteurs CANDU et prédire le vieillissement futur des composants et systèmes hors cœur, notamment les générateurs de vapeur (tubes en alliage 800 et structures internes en acier au carbone), les conduits d'alimentation et les conduits des circuits caloporteurs connexes (corrosion de l'acier au carbone par débit accéléré et fissuration des conduits d'alimentation). Nous présentons aussi des systèmes et composants qui peuvent avoir un impact sur la durée de vie future, ainsi que des activités de recherche et développement connexes, portant notamment sur les systèmes de conduits de la partie non-nucléaire de la centrale (conduits d'alimentation en eau et conduits enterrés), les câbles et les structures en béton.

Corrosion localisée de l'alliage 800 de qualité nucléaire dans des conditions de fermeture temporaire, de démarrage et de fonctionnement des générateurs de vapeur

Y. Lu*

EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Information sur l'article
Mots clés: N/D
* Auteur-ressource:(613) 584-3311 ext. 43258, Luy@aecl.ca

La résistance à la corrosion localisée de l'alliage 800 de qualité nucléaire, l'un des principaux matériaux des tubes des échangeurs thermiques des générateurs de vapeur (GV) des réacteurs CANDU et REP, a été étudiée dans des conditions simulées de composition chimique corrosive par crevasses du côté secondaire des GV à température ambiante, ainsi qu'à des températures élevées. Des séries de tests de polarisation potentiodynamiques cycliques ont été effectuées pour étudier la résistance à la corrosion localisée de l'alliage 800 en fonction de la concentration en ions de chlorure dans la solution corrosive par crevasses du GV à 40 °C, 150 °C et 300 °C. En se basant sur les résultats expérimentaux, des équations empiriques ont été élaborées pour calculer le potentiel de piqûration de l'alliage 800 de qualité nucléaire des composés chimiques corrosifs par crevasses du côté secondaire des GV à différentes concentrations d'ions de chlorure aux températures de fermeture temporaire , de démarrage et de fonctionnement des GV.

DONNÉES NUCLÉAIRES ET EFFET DU GADOLINIUM DANS LE MODÉRATEUR

J.C. Chow[A]*, F.P. Adams[A], D. Roubstov[A], R.D. Singh[B] and M.B. Zeller[A]

[A] EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0
[B] Candu Energy Inc., 2280 Speakman Drive, Mississauga, Ontario, Canada, L5K 1B1

Information sur l'article
Mots clés: section efficace du gadolinium, poison du modérateur, données nucléaires, ZED-2
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 44437, chowj@aecl.ca

Des mesures récentes de la section efficace du gadolinium ont soulevé des questions relatives à la précision des calculs du coefficient de réactivité du poison du modérateur. Les mesures ont été effectuées à l'installation critique ZED-2 (deutérium zéro énergie) des Laboratoires de Chalk River, EACL, dans le cadre de l'étude de l'effet de réactivité du gadolinium dans le modérateur. La section efficace de capture neutronique du bore étant bien connue, des mesures ont aussi été effectuées avec du bore afin de disposer de données d'étalonnage pour les mesures effectuées avec du gadolinium. Les mesures ont servi à quantifier le biais de l'effet de réactivité dans des simulations sur l'ensemble du cœur de ZED-2 au moyen du programme MCNP, qui est le code de transport des neutrons servant beaucoup pour des simulations de systèmes nucléaires, ainsi que de données de section efficace de ENDF/B-VII.0. Les résultats ont montré l'existence d'un biais de −0,41 ± 0,07 mk/ppm, ou de −2,1 % ± 0,3 %, compte tenu d'une réactivité de −20,1 mk/ppm pour le gadolinium. Des simulations supplémentaires ont aussi montré que, dans une version bêta de ENDF/B-VII.1 qui intégrait les données de Leinweber, la section efficace de capture neutronique du gadolinium avait été surcorrigée par rapport à des évaluations précédentes.

Mesures du profil de rayonnement gamma à haut débit de dose dans un réacteur CANDU®

C. Jewett[A*], J. Chow[A], D. Comeau[B], G. Jonkmans[A], B. Smith[A], B. Sur[A], D. Taylor[B], S. Yue[A]

[A] EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0
[B] Point Lepreau Generating Station, Point Lepreau, NB, Canada, E5J 2S6

Information sur l'article
Mots clés: imagerie gamma, mesure du rayonnement, réacteurs CANDU®, simulations de MCNP5, détecteurs de rayons gamma
* Auteur-ressource: (613) 584-3311, jewettc@aecl.ca

Une méthode permettant de déterminer la position des composants d'un réacteur a été mise au point et démontrée. Elle implique en premier lieu la mesure des hauts débits de dose du rayonnement gamma en fonction de la position dans un réacteur. Il faut ensuite comparer ces mesures à des simulations de Monte Carlo. Afin d'effectuer de telles mesures, un détecteur à diode au silicium et un système d'entraînement de l'explorateur ont été mis au point. En 2009, des mesures du profil du rayonnement gamma à haut débit de dose dans le réacteur arrêté de la centrale de Point Lepreau ont été effectuées. En comparant l'emplacement des augmentations locales dans les données de débit de dose, il a été possible de déterminer la distance entre les composants en acier du réacteur. Les données mesurées ont ensuite été comparées à des simulations de Monte Carlo pour déterminer la précision avec laquelle les barres de compensation peuvent être localisées. Au moyen de cette technique, il a été constaté que les barres de compensation rétractées étaient inférieures de 44 ±6 cm à leurs positions prévues.

Optimisation de la maille spatiale de la solution numérique de l'équation de transport des neutrons dans une cellule de réseau à barreaux groupés

R.S. Davis*

EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Information sur l'article
Mots clés: corrosion des générateurs de vapeur, corrosion par débit accéléré, corrosion de l'acier ordinaireau carbone, matériaux des CANDU
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 44278, davisr@aecl.ca

Pour les programmes qui résolvent l'équation de transport des neutrons avec l'approximation du flux de neutrons constant dans chaque espace d'une maille définie par l'utilisateur, l'optimisation de cette maille est avantageuse en matière de temps de calcul et de précision. La meilleure technique précédemment utilisée n'optimise pas vraiment la maille en raison du nombre de passages d'essai peu pratique qui doit être effectué par le logiciel de résolution. La méthode présentée ici optimise la maille pour un flux basé sur des approximations conventionnelles; elle est cependant plus informative, de sorte qu'un nombre minimal de paramètres (un par type de matériau) doit être ajusté par passage d'essai pour obtenir une réelle optimisation. Pour une cellule de réseau à l'uranium naturel de 37 éléments de CANDU®, l'optimisation actuelle permet d'obtenir une précision 7 à 12 fois supérieure (selon le critère) que la meilleure technique précédemment utilisée, et ce avec un temps de calcul inférieur de 37 %.

Résonance acoustique auto-induite de cylindres isolés exposé à un écoulement transversal

A. Mohany*

University of Ontario Institute of Technology, Faculty of Engineering and Applied Science, Oshawa, Ontario, Canada, L1H 7K4

Information sur l'article
Mots clés: résonance acoustique, décollement de tourbillon, cylindre unique, doubles cylindres en tandem, deux cylindres juxtaposés
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 5720, atef.mohany@uoit.ca

La résonance acoustique auto-induite est un problème que pose la conception de nombreuses réalisations techniques, comme les faisceaux de tubes des échangeurs thermiques et des chaudières. Ce phénomène n'étant pas parfaitement compris, il peut devenir dangereusement imprévisible. En raison de la complexité du mécanisme d'interaction du bruit d'écoulement dans des faisceaux de tubes, les cas simplifiés d'un cylindre unique et de deux cylindres dans différentes configurations (tandem et juxtaposés) sont étudiés en détail. Un résumé de ces recherches est présenté dans l'article présent. L'expérience a permis de constater que, dans un écoulement transversal, la réponse aéroacoustique de deux cylindres en tandem et juxtaposés pouvait être très différente de celle d'un cylindre unique dans les mêmes conditions d'écoulement. En outre, dans le cas de deux cylindres en tandem, la résonance acoustique est excitée sur deux plages différentes de vitesses d'écoulement : les plages de résonance à précoïncidence et à coïncidence. Le phénomène de résonance acoustique à précoïncidence est similaire au mécanisme de résonance acoustique des faisceaux de tubes alignés.

Nouveau scintillateur liquide sécuritaire chargé en bore pour la détection de neutrons

G. Bentoumi*, X. Dai, E. Pruszkowski, L. Li, B. Sur

EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Information sur l'article
Mots clés: scintillation, bore, alcoylbenzène linéaire, neutron
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 46727, bentoumG@aecl.ca

Un scintillateur liquide chargé en bore (SL) a été synthétisé pour détecter les neutrons dans un champ de rayonnement gamma élevé. Il est composé du solvant alcoylbenzène linéaire (LAB), d'une matière contenant du bore, 0-carborane ($C_2B_{10}H_{12}$), d'un fluor, 2,5-diphényloxazole (PPO) et d'un convertisseur de longueur d'onde, 1,4-bis[2-méthylstyryl]benzène (bis-MSB). Cet article décrit la préparation du scintillateur liquide et l'optimisation de sa composition chimique. Le SL chargé en bore a été testé avec un faisceau de neutrons au réacteur National Research Universal (NRU). Une crête d'énergie équivalente à 60 keV, observée dans le spectre d'énergie, est attribuée aux neutrons. Les résultats confirment qu'il est possible d'utiliser un scintillateur chargé en B-10 comme milieu sensible d'un détecteur de neutrons dans un bruit de fond relativement important de rayons gamma.

Système de détecteur d'imagerie à rayonnement basé sur un collimateur inverse

A. Das*, B. Sur, S. Yue, G. Jonkmans

EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Information sur l'article
Mots clés: N/D
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext.43468, DasA@aecl.ca

Un système d'imagerie à rayonnement a été conçu au moyen du concept de collimation inverse dans laquelle un crayon protecteur étroit est utilisé à la place d'un collimateur classique. Ce détecteur d'imagerie est plus petit, plus léger et moins onéreux qu'un détecteur collimaté classique; il peut, en outre, produire une image matricielle sphérique des sources de rayonnement dans son voisinage. Un prototype a été fabriqué aux Laboratoires de Chalk River et le concept a été mis à l'épreuve dans des expériences comportant une source ponctuelle ainsi que des sources réelles dans un champ élevé. Un tel système d'imagerie à rayonnement permet de localiser efficacement des sources de rayonnement dans des endroits difficiles d'accès et où le risque d'une contamination radiologique est élevé. Il peut être utilisé dans des activités de décontamination et de déclassement, dans des laboratoires de traitement de matières nucléaires, etc.

Radionucléides anthropogéniques dans des sédiments de la rivière des Outaouais, près des Laboratoires de Chalk River

D.J. Rowan*

EACL - Laboratoires de Chalk River, Chalk River, Ontario, Canada, K0J 1J0

Information sur l'article
Mots clés: N/D
* Auteur-ressource: (613) 584-3311 ext. 44732, rowand@aecl.ca

Pendant plus de 60 ans, la rivière des Outaouais a reçu un effluent de réacteur nucléaire, notamment des déversements de l'accident du NRX en 1952, venant des Laboratoires de Chalk River. Un intérêt récent sur l'impact potentiel de ces déversements historiques et l'éventuelle nécessité d'y remédier dans une petite région immédiatement en aval du point de déversement a conduit à des études exhaustives visant l'évaluation du risque pour la population et la faune. Cet article présente les résultats d'une étude exhaustive des radionucléides anthropogéniques dans des sédiments de la rivière des Outaouais, près des Laboratoires de Chalk River. Les radionucléides anthropogéniques dans des sédiments de la rivière des Outaouais sont, entre autres, le 60Co, 94Nb, 137Cs, 152Eu, 154Eu et le 155Eu, et 241Am. Les concentrations des radionucléides anthropogéniques diminuent rapidement avec la distance en aval de l'exutoire des installations et deviennent stables à 2 km environ en aval. Tous ces radionucléides se retrouvent sur certains sites à moins de 2 km en amont de l'exutoire, ce qui suggère un transport et une sédimentation limités en amont. La comparaison des radionucléides anthropogéniques et de plusieurs radionucléides qui datent d'avant l'existence des Laboratoires de Chalk River montre qu'à l'exception des sites de l'exutoire des installations et à moins de 2 km en aval de celui-ci, les concentrations des radionucléides qui datent d'avant l'existence des Laboratoires de Chalk River dépassent beaucoup les concentrations des radionucléides anthropogéniques dérivés des Laboratoires de Chalk River. Ainsi, l'incidence des déversements de radionucléides issus des opérations des Laboratoires de Chalk River pendant plus de 60 ans a été très faible sur les concentrations de radionucléides dans les sédiments de la rivière des Outaouais, à l'exception de quelques sites immédiatement adjacents à l'exutoire des installations.

UNE PUBLICATION OFFICIELLE DE
L'ÉNERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITÉE

WWW.AECL.CA